

未固結砂地盤での確実な注入方式の確立

賀川 昌純¹・和泉 昌樹²

¹正会員 前田建設工業株式会社 卯辰トンネル作業所 (〒920-1161 石川県金沢市鈴見台1-5-25)

E-mail:kagawa.m@jcity.maeda.co.jp

²正会員 前田建設工業株式会社 卯辰トンネル作業所 (〒920-1161 石川県金沢市鈴見台1-5-25)

E-mail:izumi.ma@jcity.maeda.co.jp

卯辰トンネル(Ⅱ期線)工事は、現在37 000台/日の交通量を有する環状道路トンネルとの中心線離隔が2~2.5D程度の位置に計画された1 200mの道路トンネル工事である。地質状態は、未固結砂層がトンネル全体の約7割を占めており、乾燥した状態である。そのため、天端補強工として実施する注入改良ゾーン内にほんのわずかな未改良部分があるだけで注入欠損部から乾燥流砂が始まり、天端崩落や側壁崩壊などのトラブルへとつながっていった。天端崩落や側壁崩壊規模がさらに大きくなると、隣接するトンネルへの影響発生は必至であり、トンネル内を走行する車両に対する安全確保に配慮したトンネル施工が最優先課題であった。

Key Words : *neighboring construction, unconsolidated sand layers, dry quicksand, preservation of surrounding environment, new injection method*

1. はじめに

金沢東環 卯辰トンネル(Ⅱ期線)工事(以下に本工事と称す)は、一般国道159号四車線化工事のうち、現在37 000台/日の交通量を有する環状道路トンネル(以下にⅠ期線と称す)との中心線離隔2~2.5D程度の位置に計画された延長1 200mの道路トンネル工事である。

地質概要は、均等係数、細粒分含有率ともに地山の流動化を示す指標以下の乾燥した状態の砂地層がトンネル全体の約7割を占め、固結状態の非常にゆるい条件下でのトンネル掘削となる。

本工事着手前に道路管理者が実施したⅠ期線覆工コンクリート定期点検の結果、健全度評価はAランクと判定されたため、本工事土質条件を考慮したトンネル壁面純離隔は0.8~1.2D'(D'は両トンネル平均径)となり、近接度区分¹⁾は直接影響領域内工事に区分された近接施工工事である(図-1)。

そのため、本工事施工においては、坑内作業の安全確保に加えてⅠ期線内を走行する車両の安全確保を図る必要が生じ、周辺環境保全に配慮したトンネル施工が最優先課題であった。

とくに、Ⅰ期線施工記録からさまざまなトラブルが発生した地層であると報告される卯辰山砂岩層区間については、注入材料選定のほか、注入方式の改善、掘削補助工シフト長の見直しなどの改善を行うとともに、実証試

験による効果確認を繰り返しながら慎重な施工を行ってきた。

本報告は、本工事において発生したさまざまなトラブルとその解決のため取り組んできた掘削補助工の改善経緯、未固結砂地盤に対し経済性を追求した上で、より確実な注入改良効果を高めるために開発してきた注入方式について述べるものである。

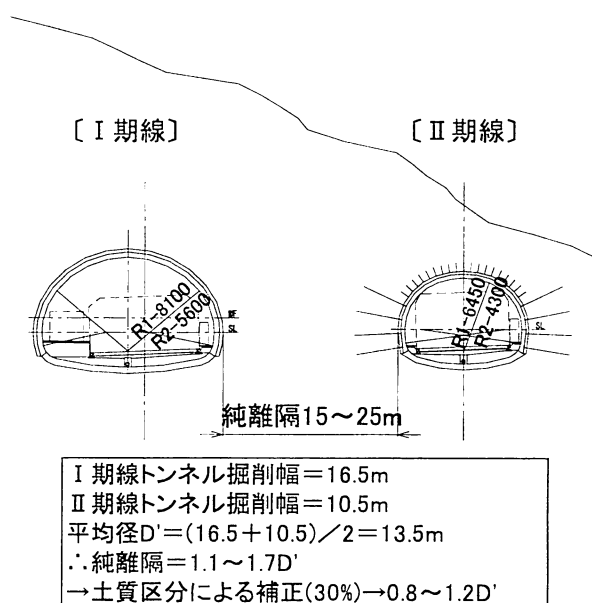


図-1 近接度の区分¹⁾

2. 地形、地質概要

本工事は、津幡、森本丘陵と称する標高200m以下の低平な山地丘陵性山地南端に位置し、本トンネルは金沢市街を北西に流下する金腐川と浅野川に挟まれた丘頂標高141mの卯辰山を北東－南西方向に貫くものである。

最大土かぶりは約85mであり、トンネル直上部には北東－南西方向、北西－南東方向の尾根や谷筋が発達し、計画路線上には3つの沢が横断している。また、地上部には卯辰山公園への周回道路や見晴台公園、ユースホテルなどの施設があり、古くより地元住民の憩いの場として多く利用されている丘陵公園地である。

地質概要は、下位から順に更新世前期の大桑層、更新世中期の卯辰山層、更新世後期の高位段丘（砂、泥、砂礫）が堆積した地層で構成される。地層は、坑口側から到達側にかけてトンネル縦断方向に見かけ2～3°のゆるい下り勾配を呈している。とくに、代表地層である卯辰山層は、未固結～半固結の細粒～中粒砂岩を主体とし、3～5枚の泥岩層と礫岩層が互層状に介在する。

切羽における土質性状は、坑口からTD100mまでの区間は、均等係数5.5%、細粒分含有率7.0%の比較的固結した大桑層砂岩が分布する。TD100～414m区間は、一軸圧縮強度2000kN/m²程度の卯辰山泥岩層を主体とする砂岩泥岩互層が分布する。それ以降については、均等係数1.5～2.9%、細粒分含有率0.2～6.9%といずれも地山の流動性を示す指標²⁾以下の未固結砂層が分布する（図-2）。

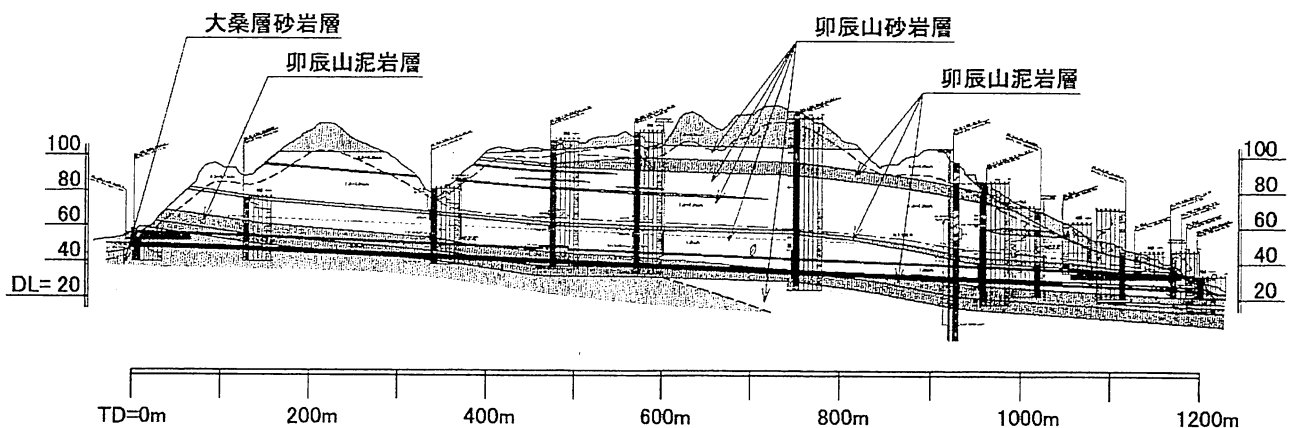


図-2 卯辰トンネル（Ⅱ期線）工事地質縦断図（実績にもとづき見直し後）

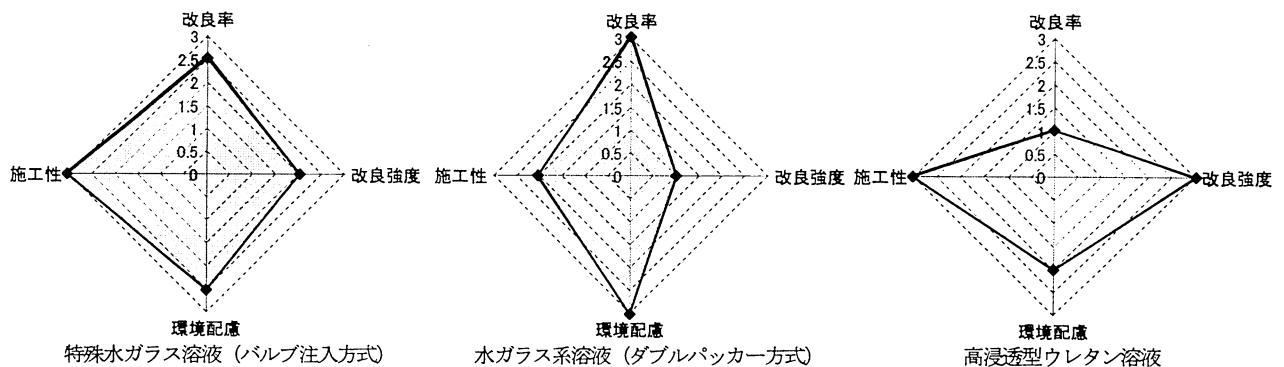


図-3 注入材料選定試験総合評価

3. 注入材の選定

本工事において天端および鏡補強を実施すべき対象土質は、細粒～中粒の砂岩層である。とくに、もっとも注意すべき地層は卯辰山砂岩層であり、冒頭に示すとおり均等係数および細粒分含有率ともに流砂現象が発生しやすい土質性状²⁾である。

そのため、本工事土質性状にもっとも効果的な注入材料の選定を行うため、坑口部施工時に注入材料選定試験を実施した。選定試験は、実際の施工方法と同様の手順で長尺フォアパイリング鋼管を鏡面に打設し、注入材料を鋼管を使用して地山内に注入し、上半掘削1mごとに改良ゾーンの出来形測定ならびに軟岩ペネトロ計を使用して一軸圧縮強度測定を実施した。

試験結果を定量的に評価するため、改良効果の評価については出来形改良径を目標改良径で除した改良率で評価する計画とした。また、地山強度向上効果については、改良体の一軸圧縮強度を周辺地山の一軸圧縮強度で除した改良強度向上率で評価する計画とした。

試験評価する注入材料は、水ガラス系浸透注入材5種類、発泡系浸透割裂注入材2種類を選定し、注入方式に分類して8種類の比較試験を実施した。この結果、改良率や改良強度向上率に突出した優位性はないが、全評価項目ともバランスが良く安定した改良効果が得られる水ガラス系浸透注入材（特殊水ガラス溶液）を選定し、注入方式はバルブ注入方式を採用することとした（図-3）。

4. 坑口部における変状発生と対策

起点側坑口部は、本工事では比較的安定すると考えられた大桑層砂岩層が分布する区間である。しかし、土かぶり高さが小さく偏圧地形内にトンネルが計画されているため、事前FEM解析結果ではもっともI期線に対する影響が大きく出ると想定された区間である（図-4）。

そのため、施工に際してはI期線への影響程度をリアルタイムに監視しトンネル内を走行する車両の安全性を評価するため、自動計測を計画し実施した。計測内容は、FEM解析で想定される影響情報を得るため、I期線覆工壁面に以下の計測機器を配備した。

- 自動追尾システム（両坑口部@10m×18断面）
- レーザー距離計（一般部@20m×53断面）
- 覆工ひずみ計（8断面×各4箇所）
- 亀裂変位計（8断面×各1箇所）
- 3軸変位計（4断面×各2箇所）
- 電気式地中変位計（9断面×各1箇所）

不測の事態に備え、吹付け機と自由断面掘削機を並列配置して掘削作業を開始した。天端補強工は注入式長尺鋼管フォアパイリング工（以後、長尺FP工と略す）を採用し、仕様は無拉幅タイプとした。

坑口より2シフト（L=13.58m、1シフト長9m）施工した段階で、トンネル天端からの小崩落や吹付けコンクリートはく落などのトラブルが発生した（写真-1、2）。

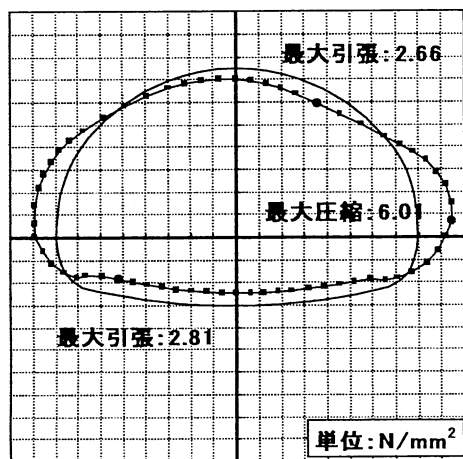
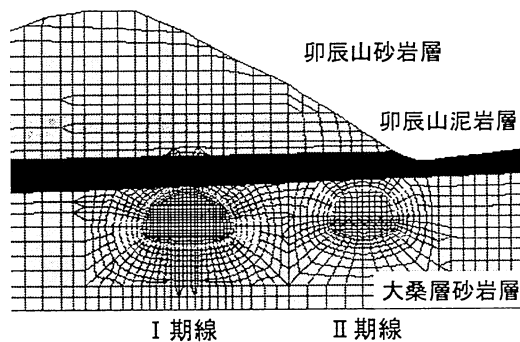


図-4 坑口部地形モデルと応力解析図（ID30m）

発生要因は、長尺FP鋼管周辺地山に強度がないため、掘削に支障となる鋼管切断時に反力となる前方地山およびトンネル周辺地山をゆるめてしまい、その結果、周辺地山の縁切りを発生させたためと考えられ、安全施工を行う上で非常に着目すべき点である（図-5）。

また、天端から小崩落する塊は長尺FP工で造成された改良体自体であり、改良体の崩落に伴い吹付けコンクリートが天端からはく落する結果となった。

よって、3シフト目以降の長尺FP工については、周辺地山を痛めないようにするため、無拉幅タイプから鋼管切断を要しない拉幅タイプに仕様変更を行った。



写真-1 天端崩落発生状況（ID25m地点）

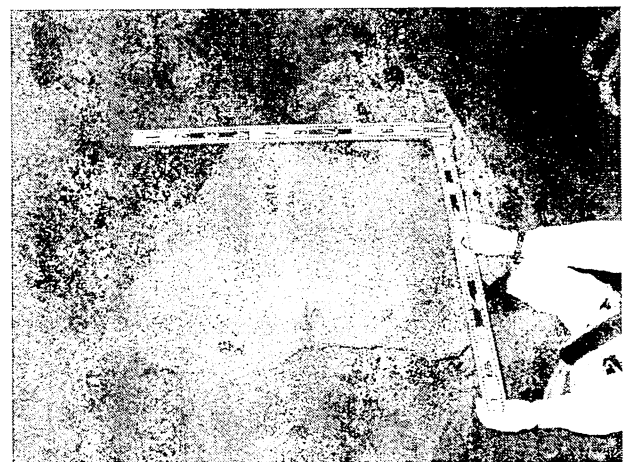


写真-2 改良体崩落状況（ID25m地点）

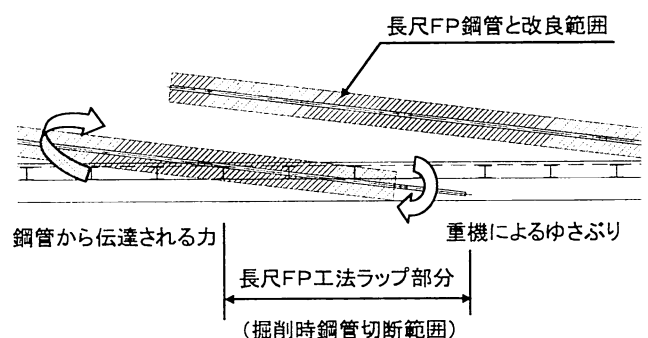


図-5 天端崩落発生メカニズム

5. 卯辰山砂岩層区間における変状発生と対策

(1) TD519m地点における変状発生と対策

TD414m地点トンネル天端より分布し始めた卯辰山砂岩層は、固結度が低く均等係数も小さいため、掘削中には幾度となく流砂現象が発生し、天端小崩落や側壁崩壊などの事象が確認された。そのため、地山試料試験結果をもとに間隙率再評価を行い、注入量の再検討を繰り返しながら掘進を継続した。

掘進が進むにつれて卯辰山砂岩層が切羽に占める割合は徐々に上がり、TD519m地点ではトンネルクラウン部全体に分布するようになった。掘削中には天端全体からの激しい流砂現象が認められ、同時に長尺FP鋼管間からの抜け落ち現象も確認された（写真-3）。長尺FP鋼管間からの抜け落ち現象は、長尺FPエラップ区間で集中的に発生し、切羽観察時にも改良体の連続性が損なわれている箇所が確認された。

長尺FP工はトンネル外周部に放射状に配列されるため、長尺FP鋼管配列間隔は鏡面で最小間隔となり、鋼管先端部（打設角度は上向き5°）では15cm程度配列間隔が広がる形状となって目標改良径を上回ることとなる。また、長尺FP工は打設された長尺FP鋼管を使用して地山内に薬液を注入して地山補強を行うものであるが、抜け落ち事象が確認された区間では不均一で先細り形状で造成された不連続改良帯が一部確認された。

今回採用したバルブ注入方式は、鋼管内に1本の注入管を使用して薬液を圧入し、鋼管周面に設けられた注入孔から地山内に薬液が圧入される方式である（図-6）。しかし、限定注入ができないため、地山内に不均質な砂層が介在すると改良帯内に不連続部分が発生し、結果として天端崩落等の要因となりうるものである。

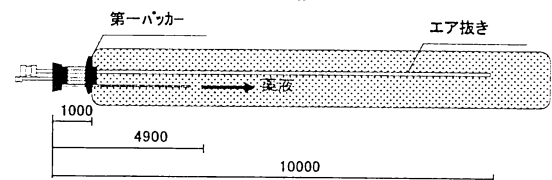
そこで、長尺FP鋼管内に仕切りを設けて注入長を短く分割し、限定注入することによって地山改良の不具合発生防止ができると考え、実証実験で確認することとした（図-6）。実証実験の評価は、吹付けコンクリートの余吹き率で評価する計画とした。

実証実験の結果、TD519m地点で確認されたような長尺FP鋼管間から上方の抜け落ち現象は改善され、鋼管下のみ肌落ちする程度まで崩落規模を抑えることが可能となった。注入量と吹付けコンクリート余吹き率との関係を比較すると、注入方式を改善した22シフト目以降では吹付けコンクリート余吹き率が約30%改善された。また、注入量上限値を徐々に少なくしたところ、新規注入方式採用区間では注入量を1本当たり約200L減らしても同程度以上の効果が確認された。さらに、当初注入方式と比較すると、同程度以下の注入量でも余吹き率が約50%改善され、改良効果の向上とともに経済性の向上にも寄与することが確認された（表-1）。

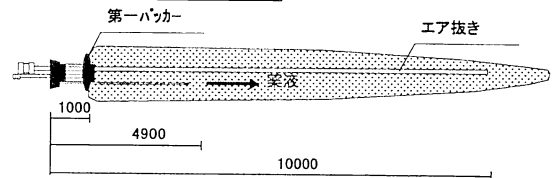


写真-3 掘削時流砂現象発生状況 (TD519m地点)

当初の注入方式(バルブ注入方式)



予想された注入ゾーンの不具合



改良型注入方式(3室分室型同時注入方式)

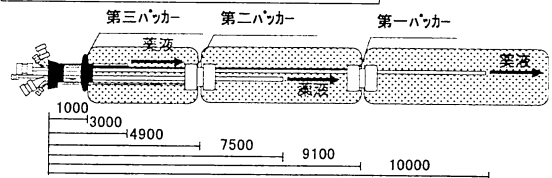


図-6 注入方式変更概念図

表-1 注入量と余吹き率の関係一覧表

施工位置	シフト名	TD	本数	注入式長尺鋼管ファイリング工実績		吹付CON余吹き率		注入方式
				注入量(L)	注入方式別平均注入量	各シフト別平均	注入方式別平均余吹き率	
	19	513	23本	19907.8	866	372%	395%	当初方式
	20	522	23本	20447.7	889	423%		
	21	531	23本	24170.9	1051	391%		
	22	540	23本	22150.3	963	361%	362%	新規方式
	23	549	23本	25104.5	1092	362%		
	24	558	23本	17712.4	770	328%	341%	新規方式 (注入量上限値見直し区間)
	25	567	23本	19546.6	850	342%		
	26	576	23本	19083.3	830	352%		
	27	585	23本	20859.8	907	336%		
	28	594	23本	20773.8	903	293%		
	29	603	23本	20776.4	903	342%		
	30	612	23本	20664.1	898	369%		
	31	621	23本	20462.9	890	367%		

このことから、当初採用したバルブ注入方式と比較し、3室に分割した同時注入方式は地山改良効果および経済性に優位性があることが確認された。

(2) TD702m地点における変状発生について

新規注入方式を採用し、経済性向上を追求しながら掘進を継続してきたが、TD702m地点において本工事でもっとも大規模な天端崩落が発生した。

発生した天端崩落高さは約7mであり、天端崩落発生の際に卯辰山砂岩層上位に遮水層として分布する厚さ約2mの卯辰山泥岩層を突き破り、地下水を坑内呼び込むこととなった。その結果、天端崩落規模は約80m³まで拡大した。天端崩落発生地点での土かぶり高さは約80mである(図-2、写真-4)。

天端崩落発生前にTD652m地点で採取した地山試料試験結果から、均等係数1.91%、細粒分含有率1.0%と非常に流動化しやすい状態が確認された。また、自然含水比9.4%、一軸圧縮強度は538kN/m²程度であり、非常に脆弱で乾燥した状態の地質である。



写真-4 天端崩落発生状況 (TD702m地点)

天端崩落発生直後に目視点検したところ、注入改良ゾーン内に幅5cm程度の改良欠損が認められ、欠損部周辺には他の砂層と比較しやや湿った状態の砂層が確認された。この欠損部から流砂現象が始まり、地上方向へと崩落高さが拡大していく結果となった(写真-5)。

卯辰山砂岩層は非常に流動化しやすく、注入改良ゾーン内にほんのわずかでも弱点があれば、容赦なくトンネル天端から掘削断面内に砂を供給するほど固結度の低い性状である。TD702m地点近傍で実施するI期線動態観測の結果、天端崩落規模は大きかったものの、その後の応急対策や恒久対策を行った効果によってI期線に対する大きな影響は発生しなかった(図-7)。しかし、今後、同様のトラブルが発生し、天端崩落や側壁崩壊規模がさらに大きくなると、近接するI期線に直接影響を与え、トンネル内を走行する車両の安全確保に問題が生じることが予測された。そのため、I期線への影響拡大を防止し走行車両の安全確保を図る上で、未固結砂地盤条件に対する確実でさらに効果的な注入方式を経済的に実施する方法を確立する必要が生じた。

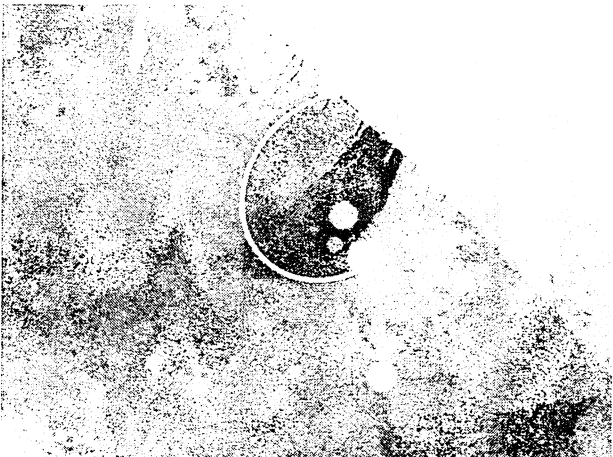


写真-5 改良ゾーン内で確認された欠損部 (TD702m地点)

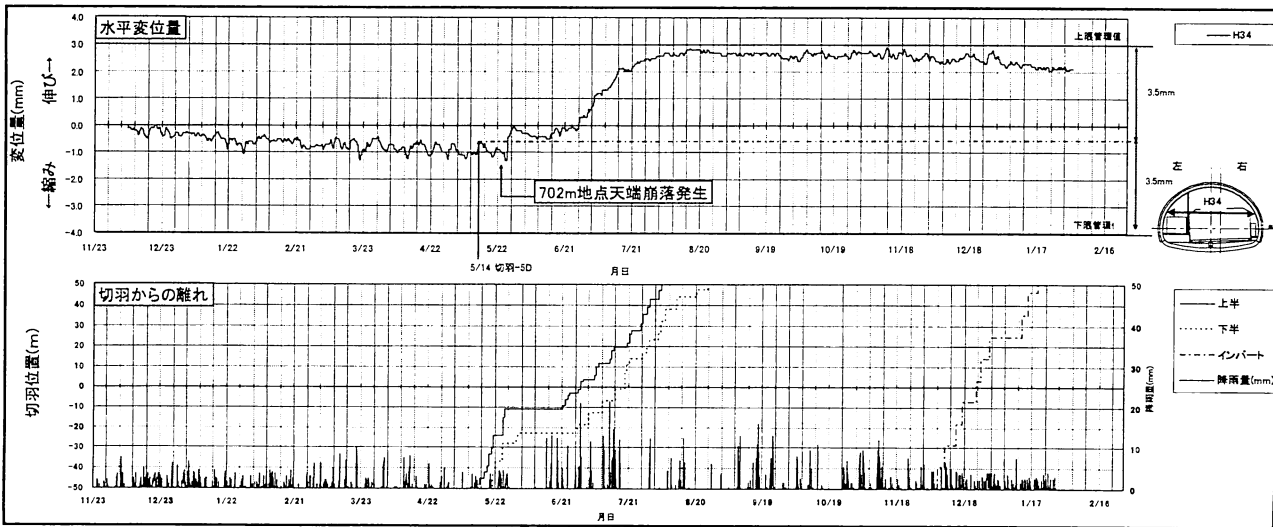
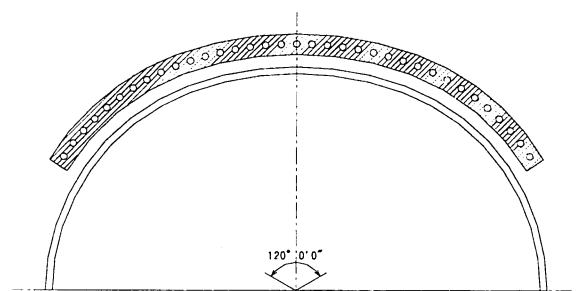


図-7 I期線トンネル動態観測経時変化図 (TD702m 地点)

6. 新たな注入方式の確立

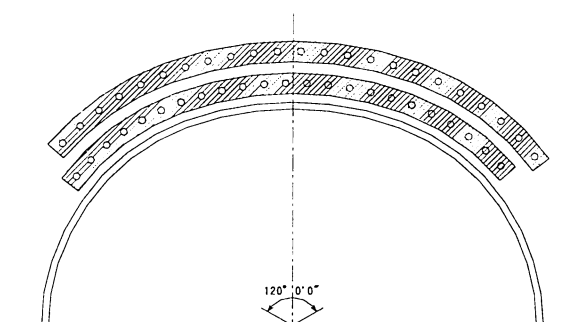
長尺FP注入方式として当初採用したバルブ注入方式と比較し、新たに採用した3室に分割した同時注入方式は地山改良効果に優位性があることが確認された。しかし、TD702m地点において注入改良ゾーン内の一部に欠損が生じ、改良ゾーン内の不連続部分から天端崩落が発生する結果となった。そのため、注入改良ゾーン内にほんのわずかでも欠損箇所を形成させないことが重要である一方、万一、欠損箇所が生じてもI期線に対する影響発生を予防することが可能な対策工を選定し、走行車両の安全確保を図ることが必要である。

注入改良ゾーン内の欠損発生防止対策としては、鋼管打設間隔の変更、中尺先受け工および複列配置長尺先受け工などが挙げられるが、本工事では、もっとも効果的で信頼性の高い複列配置長尺鋼管フォアパイリング工をTD702m地点以降採用する計画とした。複列配置長尺FP工（千鳥配置）を採用した場合、トンネル天端上には全線に渡って鋼管および注入改良ゾーンが2段配置されることとなるため、注入改良ゾーン内に不連続箇所が生じた場合でも上下に配置された補強工によって欠損箇所を補い合うことが可能となる（図-8）。



長尺鋼管フォアパイリング工（通常）

注入改良ゾーンに欠損部が発生すると、弱点が生じ流砂現象の押さえが利かなくなる



長尺鋼管フォアパイリング工（複列配置）

複列配置とすれば、常時補強工（鋼管・注入改良ゾーン）がトンネル天端に配列され、確実な天端補強が可能である。

図-8 長尺鋼管フォアパイリング比較図

天端補強工として新たに検討した複列配置長尺FP工仕様は、先受け長16.61m、1シフト長8mとし、打設角度を小さくしトンネル掘削面直近の補強が可能となるようにするため、拡幅タイプ仕様を継続採用した。

注入方式はダブルパッカー注入方式（ステップ長60cm）を採用した場合、より密実な改良ゾーン形成が可能であるが、工程面で問題があり、工事費も嵩むこととなる。そのため、現状までに発生した不具合に対処し、さらなる注入改良効果の改善を図るため、以下の点について改善を行い、実証試験で確認することとした。

- ①仕切り弁の有無による改良効果の優位性
- ②仕切り弁の位置変更（先端増量型、均等割付型）
- ③仕切り数による改良効果の優位性（3～4室）
- ④長尺FP鋼管周面に逆止弁を設けた場合の効果

(1) 試験施工ケースの計画

仕切り弁（以後パッカーと称す）の有無による改良効果確認は、鋼管内に強制的に仕切りを設けた場合と設けずに分割同時注入した場合の優位性を確認することを目的とした。パッカーの位置変更は、鋼管全長内にパッカーを均等配置した場合と、鋼管先端側へ注入量が增量できるように分割配置した場合の効果に差があるか否かを確認することを目的とした。

仕切り数による効果確認は、小口径鋼管内クリアランス（φ76.3mm）を考慮し、注入用インサート管の建込みが可能な3室型と4室型で比較した。また、逆止弁付鋼管は、長尺FP鋼管内への削孔スライム流入防止を図ることによって均一な円形改良ゾーン形成に優位性があるか否かを確認することを目的とした。

注入材料は本工事地質にもっとも効果的な特殊水ガラス溶液1種類とし、確認試験の評価は出来形改良径を目標改良径で除した改良率で定量的に評価する計画とした。各注入方式の特色ならびに試験施工採用目的は以下のとおりである。

a) バルブ注入方式

長尺FP鋼管口元より薬液を圧入し、改良対象範囲全体を改良する注入方式。1バルブ注入方式が一般的であるが、限定注入ができないため先細り形状の改良ゾーン形成が懸念される（図-9）。

ただし、経済的観点からはもっとも優位となるインサート管を採用できるため、3バルブおよび4バルブ注入方式を新たに設定した（図-10）。

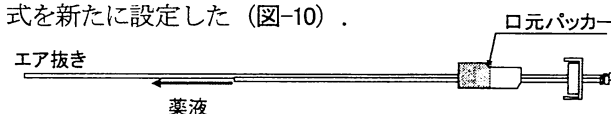


図-9 1バルブ注入方式

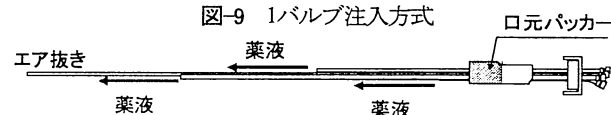


図-10 多段バルブ注入方式（3または4バルブ）

b)パッカー(仕切り弁)注入方式

長尺FP鋼管内を数か所の部屋に強制的に分割し、改良対象範囲全体を個別的に改良する注入方式。
1バルブ注入方式と比較し、短い間隔で改良範囲を分割することができるため、限定注入が可能となり均一な地山改良造成が期待できる。天端崩落発生時に採用していた注入方式よりもさらに細かく鋼管内を分割することによって、より密実な注入改良効果を期待して4パッカー4バルブ注入方式を新たに設定した(図-11, 12)。

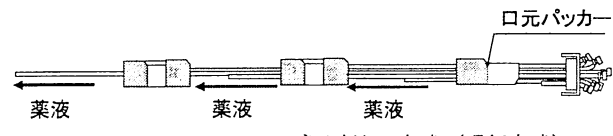


図-11 3パッカー3バルブ同時注入方式 (現行方式)

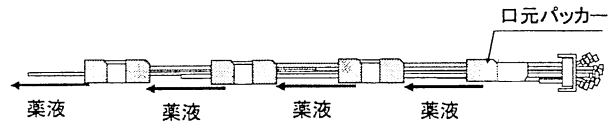


図-12 4パッカー4バルブ同時注入方式

c)逆止弁付鋼管の採用

長尺FP鋼管周囲に設けられた各注入孔に逆止弁を配置し、鋼管打設時に流入する削孔スライムによって注入孔が閉塞する可能性を排除するとともに、鋼管を中心とした均一な円形改良ゾーンを形成することを目的として新たに設定した(図-13)。

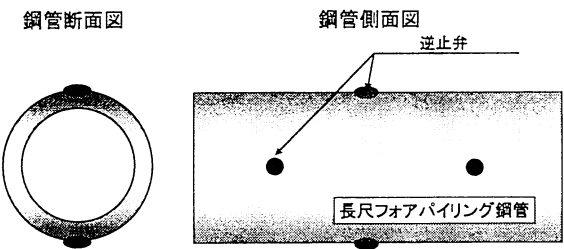


図-13 逆止弁付鋼管

(2) 第1段階試験施工

第1段階試験施工では、当初注入方式である1バルブ注入方式と現在使用している3室に分割した同時注入方式(3パッカー3バルブ同時注入方式)、ならびにパッカー位置を変更した場合とパッカー配置数を変更した場合の注入改良効果を比較した(表-2)。

表-2 試験施工内容一覧表 (第1段階)

試験 No	鋼管仕様	注 入 方 式				注 入 量 (L/本)
		パッカー数	バルブ数	分 類	目標径	
①	標準鋼管	1	1	当初方式	450	1120
②	標準鋼管	3	3	現行方式	450	1120
③	標準鋼管	3	3	新規方式 (位置変更)	450	1120
④	標準鋼管	4	4	新規方式	450	1120

この結果、4室に分割する4パッカー4バルブ同時注入方式は、鋼管内に製作上のクリアランスは確保されたが、実施時には注入用インサート管を建て込むことが困難であり試験は不可能となった。1バルブ注入方式(当初注入方式)は、バランスのとれた改良効果が再確認されたが、現行注入方式である3パッカー3バルブ同時注入方式のほうがより効果的であった。

パッカー配置間隔を変更し鋼管先端側の注入量増量を図った同注入方式と比較すると、先端増量型注入方式では先端側に期待した効果は得られず、反対に注入ゾーン全体に大きなバラツキが生じる結果となった。

第1段階試験施工の結果、現行使用する3パッカー3バルブ同時注入方式(均等割付型)がもっとも効果的な注入方式であることが確認された(図-14 試験②)。

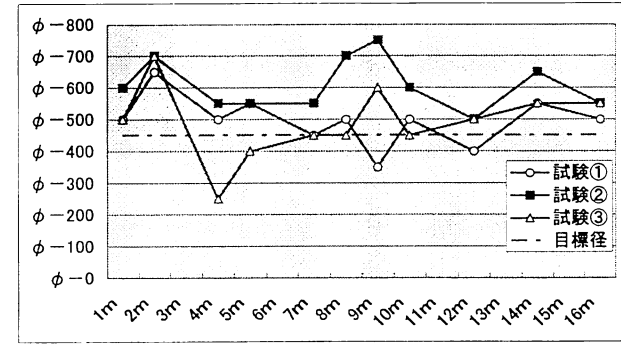


図-14 第1段階試験施工結果図

(3) 第2段階試験施工結果

第1段階試験施工でもっとも効果的な注入方式である現行注入方式(3パッカー3バルブ同時注入方式)を基本として、さらなる改良効果改善を図ることを目的として第2段階試験施工を実施した。

試験項目は、長尺FP鋼管に逆止弁を設けることによって注入改良効果に優位性があるか否かを確認することとした。また、鋼管内にパッカーを設けるか否かによって注入改良効果の優位性が異なるか否かについて、あわせて確認する計画とした(表-3)。

この結果、逆止弁付鋼管を採用した場合、改良範囲のうち先端側半分は目標改良径を下回り、逆止弁なし標準鋼管の優位性が確認された。また、鋼管を中心に均一な注入改良ゾーン形成を図ることを目的としたが、標準鋼管(逆止弁なし)を使用した場合と比較しても顕著な効

表-3 試験施工内容一覧表 (第2段階)

試験 No	鋼管仕様	注 入 方 式				注 入 量 (L/本)
		パッカー数	バルブ数	分 類	目標径	
⑤	標準鋼管	3	3	現行方式	808	1500
⑥	逆止弁付鋼管	3	3	現行方式	808	1500
⑦	標準鋼管	1	3	新規方式	450	1120
⑧	標準鋼管	3	3	現行方式	450	1120

果は確認されなかった（図-15 試験⑥）。

パッカーの有無による注入改良効果は、想定とは相反し、パッカーを設けない1パッカー3バルブ同時注入方式（均等割付型）の注入改良効果にやや優位性があることが確認された（図-16 試験⑦）。

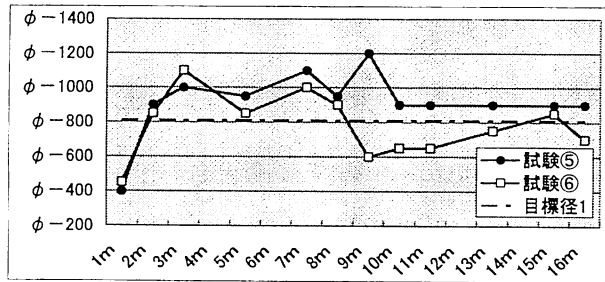


図-15 第2段階試験施工結果図1

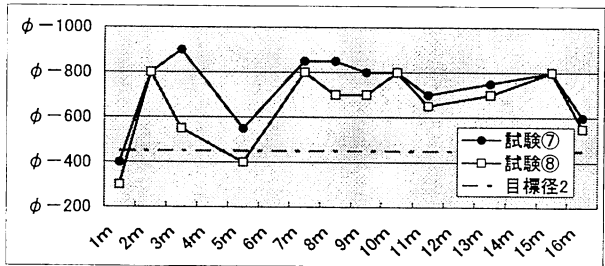


図-16 第2段階試験施工結果図2

(4) 試験施工総合評価

注入効果の改善を図るため、第1段階試験施工でもっとも効果的な注入方式である3パッカー3バルブ同時注入方式を基本注入方式とし、さらなる注入改良効果改善を図ることを目的として第2段階試験施工を実施した。

この結果、対象範囲全区間内で目標改良径が達成できたのは、3パッカー3バルブ同時注入方式と新たに設定した1パッカー3バルブ同時注入方式のみである。このうち、平均改良径を目標改良径で除した改良率で評価すると、本工事地質条件においては1パッカー3バルブ同時注入方式がもっとも効果的であることが確認された。このことは、本工事地山のように同一の砂層内にも小さな分布状態の変化があるような条件においては、鋼管内に仕切りを設けないほうが注入前後の弱点部分をお互い自由に

補うことができるため、結果として改良範囲全体に均一な改良効果を得ることができたと考える（表-4）。

表-4 試験施工結果一覧表

試験 №	鋼管 仕様	注 入 方 式			試 験 結 果			
		パッカー 設置数	バルブ 設置数	分 類	注入量 (L/本)	目 標 改良径	平 均 改良径	改 良 不足数
①	標準鋼管	1	1	当初方式	1120	450	495	2箇所
②	標準鋼管	3	3	現行方式	1120	450	609	なし
③	標準鋼管	3	3	新規方式 (位置変更)	1120	450	491	2箇所
④	標準鋼管	4	4	新規方式	1120	450	達込み 不可	—
⑤	標準鋼管	3	3	現行方式	1500	808	917	なし
⑥	逆止弁付 鋼管	3	3	現行方式	1500	808	779	5箇所
⑦	標準鋼管	1	3	新規方式	1120	450	733	なし
⑧	標準鋼管	3	3	現行方式	1120	450	646	1箇所

7. おわりに

卯辰トンネル(Ⅱ期線)工事は、地山の流動化を示す指標以下の未固結砂層が分布する地質条件下での近接施工トンネル工事であり、工事着手前よりさまざまなトラブル発生が想定された。また、供用環状道路トンネル内を走行する一般車両の安全確保という観点からも、気の抜けない条件でのトンネル施工であった。

そのため、とくに未固結砂地盤での確実な注入方式の確立を目指し、工事着手時よりさまざまな試験施工を繰り返し実施してきた。その結果、本工事のような地質条件においては、注入中の注入圧力上昇傾向はほとんど確認されなかったが、新たな注入方式を採用することによって均一な注入改良効果を得ることができた。

今後、他の地質条件に対する適用性についてさらに検証を行い、トンネル補助工の技術発展に寄与していきたいと考える。

参考文献

1) 東日本高速道路株式会社：トンネル本体内工保全編 [近接施工]，pp.19-20，1998。
2) 土木学会：トンネル標準施工方書 山岳工法・同解説，p36，2006。

Establishment of a reliable method of injection in unconsolidated sand layers

Masazumi Kagawa, Masaki Izumi

In the construction of the Utatsu Tunnel(2nd route),a new 1200-m highway tunnel is constructed with a 2 to 2.5D center-to-center clearance from a loop highway tunnel carrying 37000 vehicles per day. Geologically,unconsolidated sand layers occupy approximately 70% of the tunnel section, and in a dry condition. Existence of only a small non-stabilized area in a zone to be stabilized by injection as part of crown reinforcement induced dry quicksand and led to such problems as crown or sidewall failure. Crown or sidewall failure of larger scale was expected to affect the neighboring tunnel. Tunnel construction aimed at ensuring the safety of vehicles traveling in the adjacent tunnel was therefore critically important.